

ANNÉE 1940

N°

THÈSE
POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE
(DIPLOME D'ÉTAT)

PAR

PLOMION (Jean)

Né à Villemomble (Seine), le 3 Avril 1911

DE LA FORMATION DES BUÉES DANS L'INDUSTRIE
ET DE LEUR ÉLIMINATION

Président de Thèse : M. TANON, Professeur

PARIS

LIBRAIRIE LE FRANÇOIS
91, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 91

1940

ANNÉE 1940

N°

THÈSE
POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE
(DIPLOME D'ÉTAT)

PAR

PLOMION (Jean)

Né à Villemomble (Seine), le 3 Avril 1911

DE LA FORMATION DES BUÉES DANS L'INDUSTRIE
ET DE LEUR ÉLIMINATION

Président de Thèse : M. TANON, Professeur

PARIS

LIBRAIRIE LE FRANÇOIS
91, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 91

1940

I. — PROFESSEURS

MM.

Anatomie	RJUVIERE.
Physiologie	LÉON BINET.
Physique médicale	STROHL.
Chimie médicale	POLONOVSKI
Bactériologie	ROBERT DEBRÉ.
Parasitologie et histoire naturelle médicale	BRUMPT.
Pathologie et thérapeutique générale	BAUDOUIN.
Pathologie médicale	PASTEUR-VALLERY-RADOT.
Pathologie chirurgicale	MONDOR.
Anatomie pathologique	LEROUX.
Histologie	CHAMPY.
Pharmacologie et matière médicale	TIFFENEAU.
Thérapeutique	AUBERTIN.
Hygiène et médecine préventive	TANON.
Médecine légale	BALTHAZARD.
Histoire de la médecine et de la chirurgie	LEVY-VALENSI.
Pathologie expérimentale et comparée	HENRI BENARD.
Hydrologie thérapeutique et climatologie	CHIRAY.
Clinique médicale	ABRAMI.
	FIESSINGER.
	LOEPER
	RATHERY.
Hygiène et clinique de la première enfance	LEREBoullet.
Clinique des maladies des enfants	NOBECOURT.
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale	
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	LAIGNEL-LAVASTINE.
Clinique des maladies du système nerveux	
Clinique des maladies infectieuses	GOUGEROT.
	GUILLAIN.
	LEMIERRE.
Clinique chirurgicale	CUNEO
	GOSSET
	GREGOIRE
	JENCRMANT.
Clinique ophtalmologique	VELTER.
Clinique urologique	CHEVASSU.
	COUVELAIRE.
Clinique d'accouchements	JEANNIN.
	LEVY-SOLAL.
	MOCQUOT.
Clinique gynécologique	
Clinique chirurgicale infantile et orthopédique	OMBREDANNE.
Clinique thérapeutique médicale	HARVIER.
Clinique oto-rhino-laryngologique	LEMAITRE.
Clinique thérapeutique chirurgicale	PIERRE DUVAL.
Clinique propédeutique	M. VILLARET.
Clinique de la Tuberculose	TROISIER.
Clinique chirurgicale orthopédique de l'adulte	
Clinique cardiologique	MATHIEU.
Clinique de neuro-chirurgie	LAUBRY.
Assistance Médico-Sociale	GLOVIS VINCENT.
	N...
Professeurs sans chaire	HAZARD.
	MUCON.
	OLIVIER.
	SANNIC.
	VERNE.

II. — AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM.

Pathologie chirurgicale..	AMELINE.
Pathologie médicale	BARIETY.
Pathologie médicale.....	BÉNARD HENRI.
Pathologie médicale.....	BERNARD ETIENNE.
Pathologie.....	BESANÇON JUSTIN.
Bactériologie.....	BONNET.
Chimie	BOULANGER.
Pathologie médicale.....	BOULIN.
Pathologie médicale	BROUET.
Histologie	BULLIARD.
Pathologie médicale.....	CACHERA.
Anatomie	CORDIER.
Pathologie médicale	COSTE.
Pathologie	COUVELAIRE.
Physique	DOGNON.
Pathologie	FEY.
Pathologie chirurgicale..	FUNCK.
Parasitologie	GALLIARD.
Bactériologie	GASTINEL.
Pathologie chirurgicale..	DE GAUDART D'ALLAINES.
Physiologie	GAYET.
Pathologie médicale.....	DE GENNES.
Histologie	GIROUD.
Pathologie médicale.....	HAGUENAU.
O-rhino-laryngologie ..	HALPHEN.

MM.

Anatomie pathologique..	HUGUENIN.
Hygiène	JOANNON.
Obstétrique	LACOMME.
Obstétrique	LANTI EJOUL.
Pathologie médicale.....	LAROCHE GU.
Parasitologie	LAVIER.
Pathologie médicale	LELONG.
Pathologie expérimentale	LEMAIRE.
Pathologie chirurgicale..	LEVEUR.
Pharmacologie	Mme J. LEVY.
Pathologie chirurgicale ..	MÉNÉGAUX.
Pathologie médicale.....	MOLLARET.
Pathologie médicale.....	MOREAU.
Pathologie chirurgicale..	MOULONGUET.
Pathologie médicale.....	MOUQUIN.
Pathologie chirurgicale..	PETIT UT. I.
Médecine légale.....	PIÉTEL ÈVRE.
Obstétrique	PORTES.
Ophthalmologie	RENARD.
Physiologie	RICHET.
Pathologie chirurgicale..	SÈNEQUE.
Pathologie médicale.....	TURPIN.
Obstétrique	VIGNES.
Pathologie chirurgicale..	WILMOT H.

III. — AGRÉGÉS RAPPELÉS A L'EXERCICE

POUR LE SERVICE DES EXAMENS

MM.

Pathologie chirurgicale..	ALGLAVE.
Pharmacologie	BUSQUET.
Physiologie	CHAILLEY-BERT.
Obstétrique	GUÉNIOT.
Pathologie chirurgicale ..	HEITZ-BOYER.

MM.

Pathologie chirurgicale..	LARDENNOIS.
Obstétrique	LE LORIER.
Parasitologie	NEVEU-LEMAIRE.
Pathologie chirurgicale ..	SCHWARTZ.
Obstétrique	VAUDESCAL.

IV. — AGREGÉS CHARGÉS DE COURS DE CLINIQUE ANNEXE

A TITRE PERMANENT

MM.		MM.	
ALAJOUANINE.	} Clinique médica	BASSET.	} Clinique chirurgicale
AUBERTIN.		BROcq.	
BRULÉ.		CADENAT.	
CHABROL.		GATELLIER.	
DONZELOT.		MOURE.	
DUVOIR.		QUENU.	
LIAN.		VELTER.	
PASTEUR-VALLERY-			
RADOT.			
SEZARY.			
MM.	} Clinique obstétricale.		
ECALLE			
METZGER.			

V. — CHARGÉS DE COURS

	MM.
Education physique.....	CHAILLEY-BERT, agrégé.
Radiologie clinique.....	LEDoux-LEBARD.
Stomatologie	RUPPE.
Puériculture	WEIL-HALLÉ.

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A LA MEMOIRE DE MON PERE

*Son image reste toujours
vivante en mon cœur.*

A MA MERE

*Qu'elle trouve ici l'expres-
sion de mon amour filial, et
les remerciements pour les sa-
crifices qu'elle a consentis.*

A MON ONCLE HENRI BOUCHER

A MA TANTE ALBERTINE BOUCHER

*Qui ont entouré mon enfance
et ma jeunesse de tendresse et
d'amitié. Qu'ils soient remer-
ciés, de toute la force de mon
affection.*

A MON FRERE JACQUES

A MES GRAND'TANTES

A MES COUSINS ET COUSINES

A TOUS LES MIENS

A MES AMIS

IV. — AGREGÉS CHARGÉS DE COURS DE CLINIQUE ANNEXE

A TITRE PERMANENT

MM.		MM.
ALAJOUANINE. AUBERTIN. BRULÉ. CHABROL. DONZELOT. DUVOIR. LIAN. PASTEUR-VALLERY- RADOT. SEZARY.	} Clinique médica	BASSET. BROCQ. CADENAT. GATELLIER. MOURE. QUENU. VELTER.
		} Clinique chirurgicale
MM.		
ECALLE METZGER.	} Clinique obstétricale.	

V. — CHARGES DE COURS

	MM.
Education physique.....	CHAILLEY-BERT, agrégé.
Radiologie clinique.....	LEDOUX-LEBARD.
Stomatologie	RUPPE.
Puériculture	WEIL-HALLÉ.

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A LA MEMOIRE DE MON PERE

*Son image reste toujours
vivante en mon cœur.*

A MA MERE

*Qu'elle trouve ici l'expres-
sion de mon amour filial, et
les remerciements pour les sa-
crifices qu'elle a consentis.*

A MON ONCLE HENRI BOUCHER

A MA TANTE ALBERTINE BOUCHER

*Qui ont entouré mon enfance
et ma jeunesse de tendresse et
d'amitié. Qu'ils soient remer-
ciés, de toute la force de mon
affection.*

A MON FRERE JACQUES

A MES GRAND'TANTES

A MES COUSINS ET COUSINES

A TOUS LES MIENS

A MES AMIS

A MONSIEUR LE PROFESSEUR TANON

Professeur, d'Hygiène et de Médecine préventive

Membre de l'Académie de Médecine

Officier de la Légion d'honneur

*Qui nous fait le très grand
honneur de présider notre
thèse.*

*Hommage de profond respect
et de reconnaissance.*

A MES MAÎTRES
A L'ÉCOLE DE MÉDECINE DE REIMS

A MES MAÎTRES
A LA FACULTE DE MÉDECINE DE PARIS

*Hommage de respectueuse re-
connaissance.*

A MES CAMARADES AUX ARMEES

POSITION DU PROBLEME

L'air atmosphérique est saturé de vapeur d'eau pendant les journées pluvieuses; même dans les régions où il ne pleut jamais cet air n'est jamais sec à zéro. (Siccité absolue.) On sait que dans les régions sub-tropicales, la plus grande difficulté de l'adaptation de l'organisme au climat est représentée par l'atmosphère *chaude à degré hygrométrique élevé*. Or, cette ambiance se trouve reconstituée de manière artificielle, par saturation, de façon continue, de l'atmosphère d'un local par de la vapeur d'eau, dans certaines industries, telles que les teintureries, les blanchisseries de fil, les fabriques de papier, les fabriques de sucre, les filatures de soie, de coton, de laine, de schappe, de lin au mouillé, les tissages de lin, de coton, de jute, de soie, les travaux dans les mines, les souterrains.

Nous ne voulons pas trop insister, mais nous pouvons simplement indiquer que « le fait de guerre » a augmenté le nombre d'heures de présence des ouvriers dans ces atmosphères, a augmenté le nombre de ces ouvriers, a amené dans ces usines, ces travaux de souterrains et de mines des individus peu ou point

préparés à y travailler. Un problème d'hygiène industrielle, de la plus haute importance, se trouve ainsi posé, du point de vue de la santé des individus vivant en atmosphère humide, du point de vue du rendement du travail de ces individus.

Le travail en milieu humide n'est pas sain. Le rhumatisme est ici maladie professionnelle, susceptible de devenir maladie sociale (M. P. Weill). On peut dire que « le travail dans un milieu humide ralentit les phénomènes d'anabolisme, et prédispose au lymphatisme » (M. Frois).

Cependant, nous avons envisagé le travail en milieu humide à une température « normale ». Si la température s'élève, l'influence de l'humidité se fait infiniment plus active sur l'organisme. Dans une atmosphère incomplètement saturée de vapeur d'eau, le travail devient pénible dès que le thermomètre sec atteint 28°C. Un travail prolongé dans cette atmosphère provoque à la longue une asthénie caractéristique, un état de déchéance organique que, dans certains milieux industriels, on appelle le « mou des filatures ».

Dans une atmosphère saturée de vapeur d'eau, si le thermomètre sec dépasse 31°C, le séjour prolongé peut provoquer des malaises sérieux. On connaît, à ce propos, les « coups de chaleur » des bains Turcs, qui ne se produisent que dans l'étuve à vapeur, et jamais dans le « bain sec ». Tout travail dans de telles conditions est impossible, et même dangereux. Même à 26 centigrades, en atmosphère saturée, le travail,

rendu très difficile, et d'un rendement déficitaire, est dangereux s'il est prolongé.

En principe, on estime avec Haldane, que la température de 26°C au thermomètre mouillé constitue une température critique, à condition que l'air ait un état hygrométrique voisin de l'unité, que cet air soit à peu près immobile, et que les personnes y vivant soient dévêtues ou légèrement vêtues. Si ces trois dernières conditions sont modifiées, on doit relever ou abaisser cette température critique, en fonction de ces modifications. Cependant, à côté des atmosphères dans lesquelles l'humidité est nettement apparente, existent des conditions de travail dans lesquelles elle soit « dissimulée », c'est-à-dire qu'on ne fasse que la « sentir » et que, pour en reconnaître le taux, il soit nécessaire d'en mesurer le taux au moyen du psychromètre, dont, sans rappeler les détails, nous indiquerons simplement la technique et le moyen de lecture des indications.

L'appareil est essentiellement composé de deux thermomètres l'un, le thermomètre *sec*, usuel, l'autre, le thermomètre *mouillé*, dont le réservoir est entouré de mousseline ou de gaze dont l'extrémité plonge dans un récipient rempli d'eau. L'eau monte par capillarité, mouille la gaze, s'évapore au contact de l'air ambiant, produisant un refroidissement que marque le thermomètre mouillé. La lecture de ce psychromètre se fait selon la formule composite ci-après :

$$K (F'f) = M (t - t')$$

D'où $f = F' - A (t - t')$, f étant la tension de va-

peur d'eau à la température t , F' la tension maxima de la vapeur d'eau à la température t' du thermomètre mouillé, t la température donnée par le thermomètre sec. A , coefficient constant dans certaines limites, donne, pour une température au-dessus de 0,0001200, en air au repos ; 0,00800 dans l'air un peu agité, 0,000656 dans l'air agité. F' est donné par les tables de Regnault. En lisant les deux températures t et t' , on obtient donc f , et par suite, l'état hygrométrique e par la formule $e = \frac{f}{F'}$, F' étant alors la tension maxima de la vapeur d'eau à la température f du thermomètre sec.

Dans cette atmosphère, lorsque le taux de l'humidité est de 100 %, soit lorsqu'il est égal ou très voisin de l'unité, l'air est saturé, et cette saturation donne généralement lieu à un phénomène de condensation de la vapeur d'eau sous forme vésiculaire, cette forme rendant apparente la présence de la vapeur sous un aspect semblable à celui du brouillard, aspect désigné dans les milieux industriels sous le nom de « buées ». Nous nous proposons d'examiner les conditions industrielles de formation des buées, leur rôle sur l'organisme, et d'envisager quels ont été les procédés mis en œuvre pour dissiper ou éliminer les buées dans les milieux où elles peuvent présenter un danger pour la santé des ouvriers, tout en amenant une diminution sensible de leur rendement sur le plan économique.

PLACE DES BUEES DANS L'INDUSTRIE

LEUR ROLE NOCIF

C'est surtout dans les teintureries que l'on constate le plus souvent la présence de buées, et, presque au même plan, dans les blanchisseries, les papeteries, les ateliers d'apprêts et de dégraissage et les savonneries.

Les autres industries dans lesquelles on relève les dégagements les plus fréquents de buées, sont les boyauderies, les échaudoirs, les fondoirs de graisse, les fabriques de colle, les sucreries, les usines de torréfaction de café, et enfin les fabriques de coton-poudre.

Elles proviennent de deux sortes d'appareils :

a) De cuves, dans lesquels sont traités certains produits, dans un liquide approprié, chauffé à une température assez élevée, bacs à tourniquets, barques, covelots, bassins de foulonnage, etc.

b) D'appareils sècheurs cylindriques, chauffés intérieurement, utilisés pour produire l'évaporation de l'eau contenue dans les pièces qui passent sur ces cylindres (papeteries).

Dans le premier cas, la surface du bain dégage de la vapeur d'eau, dont la quantité est en rapport avec la surface libre du bain, avec la température de celui-ci, avec le mouvement de l'air à la surface d'évaporation, et enfin avec la pression ambiante. Nous verrons dans un chapitre spécial les moyens de calcul de cette évaporation.

Cette vapeur d'eau, qui se dégage peu à peu dans la salle, augmente l'état hygrométrique de cette dernière et tend à saturer l'atmosphère.

Le mélange, air et vapeur d'eau, subit à cause de sa température élevée, un mouvement ascendant rapide, venant en contact avec les couches d'air plus froides, la vapeur d'eau se condensera d'après le principe qu'à la même pression, l'air absorbe d'autant moins de vapeur d'eau que sa température est plus basse.

Dans le second cas ci-dessus, l'évaporation est produite par le contact des pièces à sécher avec les cylindres chauffés à une température sensiblement supérieure à 100°.

D'une manière générale, les buées ne sont pas toxiques en elles-mêmes, et ne sont nocives que par l'humidité qu'elles entretiennent dans les locaux où séjournent les ouvriers.

Toutefois, il est des industries dans lesquelles les buées entraînent des produits toxiques, comme par exemple dans la fabrication du dinitrophénol, des teintures au noir d'aniline, de la teinture rouge de paraniline, où l'on constate alors des ophtalmies,

des éruptions eczémateuses, des maux de tête, des troubles de la digestion. On constate également des troubles nerveux, de l'agitation intense chez les ouvriers des usines de torréfaction de café, avec insomnies prolongées, tandis que dans les fabriques de savon où se dégage de l'acroléine, existe une intoxication générale bien connue des médecins spécialisés dans l'étude des intoxications professionnelles.

Mais, même non toxiques, les buées exercent une action néfaste sur l'organisme, et d'autre part, entretiennent dans les locaux un assombrissement de l'atmosphère, une non-visibilité qui entraînent des risques d'accidents graves. Dans certains cas, la circulation dans les ateliers peut être rendue sinon impossible, du moins très difficile. Les ouvriers, bien que connaissant parfaitement les lieux, ne peuvent prévoir la présence momentanée d'un chariot, d'un bac mobile, ou de tout autre obstacle. L'accident qui en lui-même serait limité à une chute, emprunte son caractère de gravité du fait que cette chute se produit dans un atelier encombré de courroies de transmission en mouvement, de bacs à température élevée, etc. donc risques de blessures ou de brûlures graves, l'ouvrier étant happé par la courroie ou tombant dans un liquide bouillant.

D'autre part, la présence de buées dans des locaux est un élément « économique » ruineux, car elles ont une action néfaste sur les plafonds, les toitures, les fermes en bois ou métalliques.

Enfin, la condensation de ces buées sur des parties

métalliques produit des gouttelettes d'eau, plus ou moins souillées, plus ou moins rouillées, qui, en retombant, détériorent les marchandises, les murs, les boiseries, le travail même des ouvriers.

Pour toutes ces raisons, il importe d'éliminer les buées des ateliers dans lesquelles elles se forment. Mais encore faut-il connaître leur mécanisme réel de formation, dont nous avons déjà donné un aperçu, et connaître la quantité de buées à éliminer d'un lieu donné, dans des conditions données. C'est ce que nous allons maintenant examiner.

FORMATION DES BUEES

Un liquide vaporisé dans un milieu exempt totalement de germes, de poussières, de particules en suspension dans l'air susceptibles de servir de support à ce liquide, ne manifesterait jamais sa présence sous forme de buées ou de brouillard.

On pourrait vaporiser jusqu'à saturation du milieu en vapeur d'eau pour la température donnée, mais là s'arrêteraient les phénomènes. Pour que la vapeur d'eau puisse se condenser sous forme vésiculaire, il est nécessaire que se forment des gouttelettes d'eau plus ou moins grosses, souvent infiniment petites. L'expérimentation a montré que cette formation de gouttelettes n'est possible dans l'air que s'il existe des noyaux de condensation, ces noyaux étant généralement des poussières fines, des germes et également des ions électriques.

La quantité de vapeur d'eau formée à la surface d'un bac, dans la première méthode de formation que nous avons exposée dans le chapitre précédent peut être calculée par la formule dite de Dalton.

$$V = K \times S \times F \times \frac{F - f}{H}$$

S étant la surface libre du liquide.

F est la tension de la vapeur d'eau à la température de l'atmosphère t.

f est la tension maxima de la vapeur d'eau à la température T du liquide.

K est un coefficient constant qui dépend de la nature du liquide et de l'état d'agitation de l'air au-dessus du liquide. H est la pression atmosphérique, que nous supposerons constante (M. Frois).

De cette formule, on peut conclure immédiatement que l'évaporation est favorisée par une plus grande surface du liquide, l'état d'agitation de l'air et la température du bain, car dans ce cas F croît et par suite le facteur (F-f).

L'évaporation aurait cependant une limite, si l'on prenait un local hermétiquement clos, car alors la saturation de l'air aurait lieu à l'instant où f serait égal à F, ce cas ne se présentant pas dans la pratique, et l'évaporation à la surface étant constante, la formation des buées se poursuivant régulièrement avec la marche des appareils.

En dehors des deux modes de formation des buées ci-dessus indiquées, la buée peut encore se former accidentellement par une diminution soudaine de la température de l'atelier à un endroit donné.

On sait que si l'on perce un orifice dans la paroi verticale d'un mur et près du plancher, on observe une rentrée d'air de l'extérieur vers l'atelier. Si, au contraire, l'ouverture est pratiquée dans le haut, près

du plafond, le courant se dirige de l'atelier vers l'extérieur.

Il existe, entre ce plan supérieur et le plan inférieur, une *zone neutre* dans laquelle l'ouverture pratiquée dans la paroi verticale ne donne ni entrée d'air extérieur ni sortie d'air intérieur.

La zone neutre est à hauteur fixe pour une perméabilité donnée des parois, et s'établit toujours à proximité des parties les plus perméables. Si on pratique une ouverture supplémentaire, la zone neutre va tendre à se rapprocher de cette ouverture.

Si on ouvre une porte, au bas de ce mur, l'équilibre sera rompu, la zone neutre tendra à descendre, et l'air extérieur froid rentre dans l'atelier et condense la vapeur d'eau. La buée se forme opaque. Si, par contre, on ouvre un lanterneau ou un châssis dans le plafond, il y a logiquement sortie d'air chaud intérieur.

Mais le phénomène est plus complexe qu'on ne le croit, la vitesse du vent qui s'oppose à ce mouvement d'évacuation jouant un rôle important (A. Turin).

Nous verrons plus loin les réalisations techniques de ce mode d'évacuation des buées, et les autres méthodes destinées à réaliser pratiquement les desiderata des données mathématiques.

DONNEES THEORIQUES DE L'ELIMINATION DES BUEES

Nous nous souvenons que la quantité d'eau évaporée dans l'unité de temps est donnée par la formule

$$V = K \times S \times \frac{F - f}{H}$$

Or, si f et H sont des quantités sur lesquelles on ne peut agir, tout au moins d'une manière directe, on se rend compte que c'est sur S que l'on doit agir, en tentant de le réduire le plus possible. Mais alors on ne fera que diminuer l'évaporation, et on ne la supprimera pas, car, pour la faire disparaître, il faudrait que V soit égale ou tende vers 0, c'est-à-dire que F soit égale à f .

La température du bain étant généralement supérieure à celle de l'atmosphère, et la vapeur qui s'en dégage étant presque uniquement formée de vapeur d'eau, il est impossible de supprimer ainsi l'évaporation, F étant toujours supérieur à f . On peut, à la rigueur, diminuer S , surface d'évaporation, on peut chercher à abaisser autant que possible la température du bain liquide, pour que F se rapproche de f ,

et enfin, au point de vue industriel, chercher à constituer des mélanges à petit K.

Une réalisation pratique de ce procédé est représentée par l'addition de chlorure de zinc à l'eau chaude utilisée pour dissoudre les matières gommeuses et les résines qui imprègnent la fibre du lin, dans les filatures. Cette addition permet de réduire la température des bains à 20°, et les buées ont été éliminées. Toutefois, ce procédé ne s'est pas généralisé, et c'est fort regrettable.

On peut également chercher à « isoler » les buées comme on isole les appareils producteurs de poussières, en substituant le travail à bacs ouverts en travail à bacs fermés.

Sur le plan théorique toujours, on peut songer à éliminer les buées en réchauffant l'atmosphère de l'atelier à une température telle que la quantité de vapeur d'eau dégagée ne puisse saturer l'air.

Or, cette méthode porterait l'air ambiant à des températures exagérées, inadmissibles (de Smet).

Considérons, par exemple, un atelier de teinturerie produisant 450 kgr de vapeur d'eau à l'heure, et ayant un volume de 5000 m³.

Admettons que l'air en mouvement soit uniformément chargé d'humidité, et que le renouvellement horaire soit d'une fois le volume de l'atelier. Dans ces conditions, chaque mètre cube d'air renfermera

$$\frac{450}{5\,000} = 0 \text{ kg } 09 \text{ d'eau, en supposant qu'il soit com-}$$

plètement sec à l'extérieur et qu'il ne soit chargé

que de l'humidité dégagée dans la salle, sa température devra être au minimum de 53° pour qu'il ne soit pas complètement saturé et qu'il n'y ait pas formation de buées.

Même en supposant que la ventilation naturelle puisse atteindre 2 renouvellements horaires, la teneur en vapeur d'eau par mètre cube d'air serait de $\frac{450}{10.000} = 0 \text{ kg } 045$, ce qui correspondrait à une température de 36°.

Ces températures ne sont évidemment pas acceptables. La température d'un atelier doit être une donnée fixe du problème à résoudre et on doit admettre dans la plupart des cas une température de 20 à 23° maximum.

Cette méthode qui, théoriquement, devrait être « possible » s'avère donc pratiquement irréalisable. Nous allons maintenant examiner quelles sont celles qui ont été successivement proposées, adoptées dans certains cas, et celles qui, pratiquement, se révèlent comme les plus satisfaisantes, si elles ne sont pas le plus fréquemment utilisées.

REALISATIONS PRATIQUES DES PROCÉDES D'ELIMINATION DES BUEES

PROCÉDÉS CHIMIQUES

On a tenté de chercher à déshydrater par des procédés chimiques l'air des ateliers qui est simplement un air saturé d'humidité. Pour cela, on a fait appel à des corps vides d'eau, tels que la chaux vive, le chlorure de calcium, la ponce sulfurique, ou tout autres corps.

Mais, en pratique, ces procédés offrent trop d'inconvénients, et l'un des plus importants est que, pour être « rentable » un procédé doit être économique. Il s'agissait donc de régénérer à bon compte les corps utilisés une fois hydratés par les buées. Cette régénération s'est révélée ruineuse, et les procédés chimiques ont été abandonnés.

PROCÉDÉS ARCHITECTURAUX : HOTTES ET CHEMINÉES D'APPEL

On devait empiriquement chercher à débarrasser les ateliers de leurs buées, en plaçant des hottes munies de cheminées d'appel vers l'extérieur, soit direc-

tement au-dessus d'un bac (hottes individuelles), soit au-dessus d'un groupe de bacs (hottes collectrices).

Or, cette méthode offre toute une série d'inconvénients :

a) La présence des hottes et cheminées d'appel réduit la clarté des ateliers. Elle augmente la difficulté de circulation autour des bacs.

b) Elle crée au-dessus des bacs une zone de dépression, et l'air extérieur est appelé « par le bas » en proportion du tirage. Par suite de cette double raison, la vitesse d'évaporation se trouve augmentée, et, par suite, la formation des buées, puisque H diminue, et K augmente, en proportion de l'agitation de l'air le résultat étant une *forte augmentation de combustible* pour maintenir la température du bac au niveau voulu.

D'autre part, une hotte n'est efficace que si elle « tire » bien, et nous avons déjà dit que dans certaines conditions atmosphériques, son fonctionnement est défectueux. Le vent peut même refouler les buées dans l'atelier. On a donc tenté d'adjoindre aux hottes, pour permettre leur fonctionnement par tous les temps, un dispositif, soit constitué par une source de chaleur, soit par un ventilateur.

Une partie des buées de l'atelier est cependant éliminée, mais on n'a pas diminué la saturation de l'atmosphère.

Dans les usines de teinturerie, on a abaissé les hottes jusqu'aux bacs, en les munissant de volets à charnières, l'ouvrier pouvant ainsi se maintenir en

dehors des zones de buées. Mais ces hottes, faites de bois ou de tôle galvanisée, s'abîment vite sous l'influence de l'humidité ou des vapeurs qui se dégagent des bacs. Or, ces vapeurs, qui ne sont pas en quantité suffisante, dans les conditions normales de travail, pour provoquer des intoxications chez le personnel employé, ont cependant une action corrosive. Et ce procédé se révèle par conséquent à l'usage, par usure des hottes, assez dispendieux.

Ajoutons que lorsque les hottes sont éloignées des bacs, et en raison de l'appel d'air important qu'elles provoquent, il est généralement nécessaire d'installer dans l'atelier un dispositif de chauffage pour rendre la température supportable en hiver.

On a, dans certaines installations, remplacé les hottes par des cheminées d'appel, basées sur le même principe, qui ont donné des résultats un peu meilleurs quand elles sont réalisées selon le type dit « orienté ».

ABATTEMENT DE L'EAU VAPORISÉE PAR UN PROCÉDÉ ÉLECTRIQUE

On a réussi à abattre les poussières par des procédés électriques. On a pensé à utiliser ce même procédé pour la vapeur d'eau, selon le principe d'Antoine Libes, professeur au Collège Royal de Toulouse, exposé en 1792 dans le *Journal de Physique*, et présenté sous le titre de « Mémoire sur la pluie », principe faussement attribué par la suite à Sir Oliver Lodge, savant anglais.

En pratique, on a tenté d'abattre les brouillards des côtes à l'aide des ondes hertziennes, et des zones d'éclaircie atteignant 170 mètres ont pu être ainsi réalisées.

Mais en ce qui concerne les buées industrielles, le haut voltage nécessaire rend ce moyen terriblement coûteux et dangereux.

Toutefois, une application pratique en a été faite, par le procédé Cottrell à la poudrerie d'Angoulême pendant la dernière guerre, pour l'abattement des vapeurs d'acide sulfurique qui se présentent à l'état vésiculaire. Ces vapeurs qui, dans les conditions spéciales du travail de la poudrerie, étaient facilement captées, étaient forcées dans une tuyauterie traversée par un courant électrique à haute tension. Les frais d'installation et de fonctionnement étaient alors amortis et compensés par la récupération de l'acide sulfurique. Mais le procédé n'est pas « rentable » quand il ne s'agit plus que de vapeur d'eau.

PROCÉDÉS MÉCANIQUES

En principe, puisque l'eau peut être pulvérisée par des procédés mécaniques, on devrait parvenir à séparer l'air de la vapeur d'eau par des méthodes utilisant la force centrifuge. On ferait passer l'air saturé par un ventilateur approprié « sorte d'essoreuse à air » (M. Frois). Mais il s'agit là d'une pure vue de l'esprit, et une telle méthode n'a jamais eu de réalisation.

On a fini par s'arrêter à la solution mécanique sui-

vante : envoyer dans l'atelier un volume d'air chaud tel, qu'évacué à 23° maximum, cet air entraîne à l'extérieur toute la vapeur d'eau produite, tout en ne contenant par mètre cube qu'une quantité de vapeur inférieure à celle nécessaire pour le saturer.

SOUFFLERIE D'AIR CHAUD

Avant de parvenir à la solution dont nous avons indiqué les données au chapitre précédent, on s'est demandé si on ne pouvait pas éliminer les buées en soufflant simplement à l'intérieur des locaux de l'air pris à la température extérieure.

Mais le calcul a démontré qu'il faudrait ainsi un volume d'air considérable, car cet air contient déjà de la vapeur d'eau « atmosphérique » et ne peut donc se saturer à sa température que d'une faible quantité de vapeur d'eau.

Même si on desséchait préalablement cet air, ce qui exigerait une installation spéciale et coûteuse, le volume d'air serait malgré tout très grand. En dehors des frais considérables qu'entraînerait l'introduction de ces masses énormes d'air frais, il faudrait tenir compte du degré de refroidissement de l'atelier qu'un tel soufflage provoquerait.

On est donc revenu à la conception suivante : souffler de l'air pris à l'extérieur, préalablement chauffé à une température donnée, et qui est capable de dissiper les buées en vaporisant les vésicules d'eau. Au-

trément dit, on cherche à élever la tension maxima de la vapeur de la substance d'air considérée.

Cette solution, en elle-même, ne saurait seule satisfaire les conditions hygiéniques. On la complète généralement en rejetant à l'extérieur une partie d'humidité.

La solution d'air à introduire est assez facile à calculer. Nous donnons ci-dessous les indications théoriques pour étendre plus loin les applications pratiques :

Supposons de l'air saturé à la température t . Un mètre cube de cet air contient un poids P de vapeur d'eau. Un autre mètre cube d'air, à la sortie de l'éclair, sera saturé de vapeur d'eau à la température c . Il contiendra donc un poids de vapeur d'eau p .

La vapeur d'absorption de vapeur d'eau de 1 mètre cube aura été à peu près de

$$P - p$$

Si nous appelons V le poids de vapeur d'eau qui se vaporise dans l'éclair, il faudra donc autant de mètres cubes d'air saturé pris à la température c que de fois P sera contenu dans la formule ci-dessus. Autrement dit, le nombre de mètres cubes d'air sera égal à

$$\frac{P}{P - p}$$

Prenez un exemple pratique : En examinant la table de saturation, on remarque qu'à 23°, par exemple, le maximum de vapeur d'eau que peut contenir

un mètre cube d'air pour rester au-dessous de son point de saturation ne doit pas dépasser 0 Kg 021.

La quantité d'air, préalablement chauffé à 23° qu'il faudra introduire dans l'atelier et qui sera capable d'absorber les 450 kgs de vapeur d'eau, sans être saturé (450 kgs dont nous avons parlé dans le chapitre précédent), sera donc égale à $\frac{450}{0,021} = 21,450 \text{ m}^3$ par heure, ce qui correspond

à un renouvellement par heure, d'environ quatre fois le volume d'air de l'atelier. Pratiquement, il faut se tenir plus loin du point de saturation, et le volume d'air à introduire devra être sensiblement supérieur au chiffre ci-dessus. En effet, l'air pris extérieurement peut contenir une quantité appréciable d'humidité, et il faudra en tenir compte, puisque l'air introduit dans ces conditions n'a plus le même pouvoir absorbant. Il en faudra donc une plus grande quantité.

Le nombre des renouvellements horaires de l'air des ateliers est extrêmement variable, et dépend de la quantité de vapeur dégagée.

Prenons à nouveau un exemple concret :

Supposons 36 bacs de teinture de 2 m 50 de longueur sur 0 m 70 de largeur et 4 bacs carrés de 1 mètre carré, leur profondeur étant de 800 millimètres. L'expérience prouve que l'on peut estimer la production totale de vapeur d'eau à 737 kgs. Mais tous les bacs dans la pratique ne marchent pas en même temps et on peut admettre une production de vapeur

variant entre le quart et le cinquième du chiffre total, prenons le cinquième, soit 147 kgs, ce chiffre étant donné en négligeant la quantité de vapeur d'eau produite par le personnel.

Pour enlever ces 147 kgs de buées, il faut environ 19.600 kgs d'air sec, correspondant à environ 15.942 mètres cubes d'air pris à 20° et à sec à la pression de 760 mm. Si la salle a 5000 mètres cubes de capacité, un renouvellement d'air trois fois par heure, aux ventilateurs sera suffisant, les fenêtres, les portes, les issues, permettant par elles-mêmes un apport d'air extérieur non négligeable.

REALISATION PRATIQUE

Il existe plusieurs principes ou conditions qui régissent la possibilité de réalisation pratique de l'élimination des buées :

a) La capacité de l'atelier doit être déterminée de telle sorte que la quantité de buées formées puisse être éliminée par un renouvellement d'air raisonnable et conforme aux règles de l'hygiène.

b) On doit éviter les rentrées intempestives d'air produisant la formation accidentelle des buées. Pour cela, on doit tendre à créer une surpression dans l'atelier, surpression telle qu'elle vienne combattre la pression extérieure qui tend à se produire naturellement.

Dans les locaux sous sheds, cette surpression peut être difficile à réaliser. On parvient cependant à produire un abaissement sensible de la zone neutre, restreignant ainsi les rentrées d'air accidentelles par les ouvertures supérieures, et combattant efficacement les effets du vent sur les orifices élevés de la toiture.

c) L'introduction de l'air doit se faire par pulsion (ventilation par refoulement ou par soufflante).

L'air, ayant été chauffé préalablement, à la température convenable sera distribué dans l'atelier à la hauteur appropriée. Cette hauteur doit être étudiée pour ne pas gêner le personnel, et pour rencontrer l'air humide provenant des bacs à la hauteur de formation des buées.

Cette distribution peut faire appel soit à un groupe central de chauffage de l'air, avec distribution par canalisations, soit à des petits groupes aérothermes, répartis en différents points de l'atelier.

Le type d'installation modèle est constitué par un aéro-condenseur système Fouché, fixé sur un pylone en fer. Il se compose essentiellement d'un ventilateur à ailes hélicoïdales, de 1 m 50 de diamètre, tournant à la vitesse de 600 tours-minute. Ce ventilateur aspire l'air extérieur par une cheminée, puis la refoule dans un condenseur à vapeur vive, qui doit lui donner sa température définitive. Ce condenseur, disposé dans une caisse en forte tôle, est constitué par des batteries de plaques creuses ondulées, en tôle d'acier embouties, traversées par de la vapeur vive. L'air insufflé est ainsi chauffé par contact entre 45 et 50° et ensuite refoulé dans une gaine en bois, à section rectangulaire de 1 m 70 sur 1 m 20 à la sortie du condenseur, pour ne plus être, au bout de 36 mètres que de $0,80 \times 0,60$, cette diminution de section étant nécessaire pour maintenir la même pression d'air à l'orifice de dix bouches de $0,50 \times 0,50$ qui répartissent l'air chaud dans les salles.

Ces bouches sont munies d'ajutages et de trappes

de réglage. Elles sont placées à 3 m. 50 au-dessus du sol, et leur axe est légèrement incliné vers le milieu de l'atelier, centre de production des buées.

L'air chaud, et humide, mais transparent, ainsi produit, est évacué hors de l'atelier d'une façon continue, au moyen de deux aspirateurs à hélice de 1 mètre de diamètre, munis de cheminées d'évacuation, placés dans un mur de l'atelier, face à la canalisation soufflante. Ces aspirateurs tournent à 400 tours minute, et évacuent chacun environ 15.000 mètres cubes à l'heure.

L'atelier est ainsi traversé dans toute sa longueur par un courant d'air chaud, continu et sans cesse renouvelé, qui entraîne toutes les vapeurs produites au cours du travail. La température n'est jamais élevée au-dessus de 22°, et en été, en supprimant l'usage du condenseur, la température, quelle que soit la chaleur en dehors de l'atelier, demeure pratiquement la même.

On réalise ainsi les meilleures conditions du travail humain, chaleur en hiver, tiédeur en été, disparition des buées, c'est-à-dire de l'atmosphère humide, néfaste à l'organe humain, et préjudiciable à son bon travail, et surtout à son bon rendement.

CONCLUSIONS

1) L'influence de l'état hygrométrique de l'air d'un atelier est non seulement malsain, mais péjoratif quant à la production industrielle des ouvriers. Il est donc à la fois facteur de maladies et élément de sous-rendement.

2) A partir de 26° , si l'air est saturé de vapeur d'eau, la capacité de travail des ouvriers est diminuée dans une proportion très notable et le séjour dans un tel milieu offre des dangers.

3) Nous avons étudié le mécanisme de formation des buées et recherché les procédés mis en œuvre pour dissiper ou éliminer ces buées.

4) Les procédés chimiques n'offrent que des inconvénients et ne peuvent être mis en pratique.

5) L'usage des hottes et des cheminées d'appel, permet l'élimination d'une partie des buées, mais l'état de saturation reste le même. L'abaissement de la hotte jusqu'au bac, ou le travail en vase clos ne sont pas satisfaisants. Ils nécessitent par ailleurs l'installation d'un système de chauffage de l'atelier.

6) L'électricité sous forme de haut voltage permet théoriquement l'abattement de buées mais n'a été réalisé pratiquement que pour l'abattement des vapeurs d'acide sulfurique. Dans ce cas unique il s'est révélé rentable.

7) Le seul procédé efficace et économique d'abattement des buées consiste à chauffer l'atelier par le procédé par pulsion d'air. Cette installation doit éviter l'emploi de vapeurs vives pour le chauffage de l'air et utiliser le plus possible des chaleurs perdues, c'est-à-dire des calories inutilisées.

8) Les dispositifs servant en hiver au chauffage de l'atelier peuvent améliorer les conditions de travail des ouvriers en étant utilisés en été, après mise hors circuit du condensateur, comme dispositif de conditionnement et de régulation de la température des ateliers.

Vu : *Le Doyen*
TIFFENEAU.

Vu : *Le Président*
TANON.

Vu et permis d'imprimer :
Le Recteur de l'Académie de Paris,
ROUSSY.

BIBLIOGRAPHIE

ARRACHARD C. — De la formation des buées dans les ateliers, et de leur élimination. Revue « *Le bien-être* », avril et mai 1929.

— Humidification de l'air des ateliers, id. 1934.

BOULVIN. — Traité de mécanique appliqué aux machines, 1930.

FROIS M. — Assainissement des ateliers. in *Cours d'hygiène*, de Léon BERNARD et Robert DEBRÉ, 1937.

LECLERC DE POLLIGNY, BOULIN, COURTOIS-SUFFIT, BOURGEOIS ET COURMONT. — Hygiène industrielle, 1927.

RAZOUS P. — *Cours d'Hygiène générale des établissements industriels*, 1923.

SCHOORS F. — Hygiène et toxicologie industrielle, 1930.

DE SMETS. — Hygiène et assainissement des locaux industriels, Liège, 1935.

et

Publications du Bureau International de travail.

Encyclopédie d'Hygiène, de Pathologie et d'Assistance Sociale.

Imp. spéciale de la Librairie Le François, 91, bd St-Germain, Paris.
